中国生态农业学报 2016 年 10 月 第 24 卷 第 10 期
Chinese Journal of Eco-Agriculture, Oct. 2016, 24(10): 1328−1338

DOI: 10.13930/j.cnki.cjea.160388

种植密度和播种方式对盐碱地花生生长发育、产量及品质的影响*

张智猛[1] 戴良香[1**] 慈敦伟[1] 杨吉顺[1] 丁 红[1] 秦斐斐[1] 穆国俊[2**]

(1. 山东省花生研究所 青岛 266100; 2. 河北农业大学 保定 071001)

摘 要 以耐盐品种'花育 25 号'为材料，通过田间小区试验，设置 18.0 万穴·hm^{-2} (M1)、19.6 万穴·hm^{-2} (M2)、21.4 万穴·hm^{-2} (M3)、23.5 万穴·hm^{-2} (M4)、26.0 万穴·hm^{-2} (M5)5 个单粒精播播种方式下的种植密度和双粒穴播播种方式下的 11.6 万穴·hm^{-2} (M6)、13.0 万穴·hm^{-2} (M7)、14.7 万穴·hm^{-2} (M8)3 个种植密度，研究种植密度和播种方式对盐碱地花生主要农艺性状、产量和品质的影响，探讨盐碱地花生适宜的种植密度和播种方式。结果显示，1)土壤盐碱胁迫较大程度地抑制了花生植株的生长发育，与非盐碱地花生相比，盐碱地花生主茎高和侧枝长明显降低，仅分别为 25.6 cm 和 29.0 cm 左右。2)单粒精播方式下，在 19.6~26.0 万穴·hm^{-2} 范围内，主茎高和侧枝长在饱果期前随种植密度的增加显著降低；荚果膨大前和饱果期后，单粒精播方式下一、二次分枝数显著高于双粒穴播，且在 M2~M4 密度范围内，其基部茎长随密度增大而缩短但差异不显著。基部茎长和茎粗的变化主要发生在结荚期前，且以茎的伸长速度快于横截面积增大速度，生育后期基部茎长和茎粗均趋于稳定。3)盐碱地花生叶片和茎+叶柄光合产物快速积累期主要在花针期和荚果膨大期，叶片最大生长速率(V_m)只有茎+叶柄 V_m 的一半，叶片快速生长早于茎+叶柄 5 d 左右，且双粒穴播方式下叶片和茎+叶柄最大生长速率出现的时间(T_m)明显滞后于单粒精播方式。单粒精播方式下盐碱地花生地上部营养器官 V_m 随种植密度增加表现为"抛物线型"变化，M4 处理下的叶片和茎+叶柄的 V_m 最大，分别为 0.492 5 g·株$^{-1}$ 和 0.878 3 g·株$^{-1}$。4)种植密度对盐碱地花生各生育时期光合产物的积累影响较为显著，但对各时期各器官中分配率的影响差异较小。盐碱地花生光合产物分配规律与非盐碱地花生基本一致，生育前期光合产物主要分配在茎和叶片等营养器官中，至饱果期约 1/3 以上的光合产物分配于荚果中。5)种植密度对单粒精播方式下荚果产量有显著影响，但对各处理下的籽仁可溶性糖、蛋白质、脂肪和油酸/亚油酸(O/L)等影响不大。中轻度盐碱土区，采用单粒精播的播种方式时，适宜的种植密度为 19.0~23.5 万株·hm^{-2}。

关键词 盐碱土 花生 单粒精播 种植密度 农艺性状 产量 品质
中图分类号: S513 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-3990(2016)10-1328-11

Effects of planting density and sowing method on growth, development, yield and quality of peanut in saline alkali land*

ZHANG Zhimeng[1], DAI Liangxiang[1**], CI Dunwei [1], YANG Jishun[1], DING Hong[1], QIN Feifei[1], MU Guojun[2**]

(1. Peanut Research Institution of Shandong Province, Qingdao 266100, China;

* 国家科技支撑计划(2014BAD11B04-03)、山东省现代农业产业技术体系创新团队岗位专家(花生)(SDAIT-04-06)、山东省农业重大应用技术创新课题(2014)、山东省自主创新专项基金(2014ZZCX07401-12)和青岛市民生科技计划(14-2-3-34-nsh)资助
** 通讯作者: 戴良香，主要从事土壤–植物营养生理与生态研究，E-mail: liangxiangd@163.com; 穆国俊，主要从事作物栽培生理与生态研究, E-mail: mgj99999@126.com
张智猛，主要从事作物高产优质高效栽培理论与技术研究。E-mail: qinhdao@163.com
收稿日期: 2016−04−26 接受日期: 2016−05−16

* The work was supported by the National Key Technology R&D Program of China (2014BAD11B04-03), the Innovation Expert Team Fund of Shandong Province Modern Agricultural Technology System (Peanuts) (SDAIT-04-06), the Key Application Project of Innovative Agricultural Technology of Shandong Province (2014), the Shandong Province Innovation Special Fund (2014ZZCX07401-12) and the Qingdao Public Health Science and Technology Program (14-2-3-34-nsh).
** Corresponding authors, DAI Liangxiang, E-mail: liangxiangd@163.com; MU Guojun, E-mail: mgj99999@126.com
Received Apr. 26, 2016; accepted May 16, 2016

2. Agricultural University of Hebei, Baoding 071001, China)

Abstract To study the effects of planting density and seeding method on agronomic trait, yield and quality of peanut and to determine optimal planting density and seeding method for peanut in saline soils, a peanut (Huayu 25, salt-tolerant cultivar) field plot experiment containing five single-seed planting density treatments and three double-seeds planting density treatments was conducted. Experiment 1 was the single-seed planting experiment containing 5 planting densities — 180 thousand hole·hm^{-2} (M1), 196 thousand hole·hm^{-2} (M2), 214 thousand hole·hm^{-2} (M3), 235 thousand hole·hm^{-2} (M4) and 260 thousand hole·hm^{-2} (M5), respectively. Experiment 2 was the double-seed planting experiment, consisting of 3 planting densities — 116 thousand hole·hm^{-2} (M6), 130 thousand hole·hm^{-2} (M7) and 147 thousand hole·hm^{-2} (M8). The results showed that soil salinity stress greatly inhibited the growth of peanut plant. Compared with peanut in non-saline soils, peanut stem and branch length reduced significantly, which were 25.6 cm and 29.0 cm, respectively. For single-seed planting in the density range of 196–260 thousand hole·hm^{-2}, the height of stem and length of branch significantly reduced with increasing planting density before pod-filling stage. Before pod-swelling and after pod-filling stage, the numbers of primary and secondary branch of single-seed planting were higher than that of double-seed planting in the range of M2–M4. The stem base length decreased with increasing density, but the difference was not significant. Changes in length and thickness of stem base mainly occurred before pod-setting stage, and the rate of stem elongation was faster than the rate of cross-sectional area increase. The length and thickness of stem base tended to stabilize at late growth stage. The period of rapid accumulation of photosynthetic products in the leaves, stems and petioles of peanut in saline soils was mainly at flowering, pegging and pod swelling stages. The maximum growth rate (V_m) of leaves was only half of that of stems and petioles. The rapid growth stage leaves was 5 days earlier than that of stems and petioles. Also the V_m time of leaves, stems and petioles under the single-seed planting lagged behind that under double-seed planting. Peanut shoot V_m characterized by “parabola type” changed with increasing planting density. The leaves, stems and petioles of V_m were largest under M4 treatment, which were 0.492 5 g per plant and 0.878 3 g per plant, respectively. The effect of planting density on the accumulation of photosynthetic products in peanut was more significant, but the distribution rate of each organ in each period was not significantly different. Peanut photosynthetic products in saline soils were roughly identical to those in non-saline soils. Photosynthetic products were in the stems and leaves at the early growth stage and a third of the photosynthetic products was at pods at pod to pod-filling stage. The effect of planting density on pod yield was significant under single-seed planting, but was not significant on kernel soluble sugar, protein, fat, and the ratio of oleic and linoleic acid. For the single-seed planting, the optimum density was 190–235 thousand hole·hm^{-2}.
Keywords Saline-alkali soil; Peanut; Single-seed; Planting density; Agronomic trait; Yield; Quality

土地盐碱化已经成为一个世界性的资源环境问题。据统计，全球盐碱地面积已经达 9.55×10^8 hm^2，我国土壤盐碱化现象也越来越严重，据联合国教科文组织和粮农组织不完全统计，中国盐碱地面积约 9.91×10^7 hm^2，大部分处于待开发状态[1]。其中黄河三角洲地区盐碱化土地面积 4.43×10^5 hm^2，约占土地总面积的 70%，是制约该地区农业可持续发展的首要因素[2]。目前该区中度盐碱土壤多种植耐盐能力较强的棉花(*Gossypium* sp.)为主，但由于数年连作、土壤生产力持续下降、病虫害发生严重，加之棉花用工量大、效益持续下降，亟需找出与棉花生长期、效益相当且具有良好耐盐能力的替代作物。花生(*Arachis hypogaea*)属中等耐盐作物[3]，也是重要的油料作物和经济作物，并具抗旱、耐瘠等特性，可以作为盐碱土区棉花的替代作物之一，发展盐碱地花生生产对改善盐碱土区农业种植结构、提高农民收入、保障粮油安全供给具有重要意义。

众所周知，通过选择适宜的种植方式和密度提高花生单产水平是目前花生高产栽培重要的途径之一，但由于受气候条件、资源禀赋、种植习惯、农业科技认知水平等因素的影响，使得花生种植模式多样化。前人研究表明，种植密度对花生冠层结构和功能的影响大于栽培措施，合理密植是今后超高产栽培发展的趋势[4]。但随种植密度的增加，群体内光截获率增大，植株间相互遮阴，田间郁闭，透光条件变差，下部叶片早衰，群体光合能力降低[5–7]。关于花生高产高效栽培技术的研究报道和成果很多[8–10]，尤其关于花生–小麦(*Triticum aestivum*)套作时期、肥料类型与用量、产量水平、品种特性等因素与密度之间的优化配置关系的研究，明确了种植方式与密度不同条件下的通风透光性、冠层特征、经济系数等差异，确立了不同产量水平、不同品种在一定区域内的适宜密度范围[11–12]。但花生生产对盐碱土壤的适应性及盐碱土区花生高产栽培技术和理论的研究才刚刚起步，尤其是有关种植密度对地上部农艺性状和光合产物积累分配影响的研究鲜见

报道。本研究在山东省东营市滨海轻中度盐碱土区、利用筛选出的耐盐花生品种[13]，开展了花生高产高效栽培技术研究，旨在为解决盐碱土区棉花种植效益和面积下降、合理调整农业种植结构、优化社会生态效益、扩大花生种植面积、减少粮油争地矛盾、保持棉粮油持续均衡发展、保障国家粮油安全提供理论和技术支撑。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验于 2014 年 4—10 月在山东省东营市利津县汀罗镇毛坨村进行。供试土壤质地为砂质壤土，花生播种前 0~20 cm 土层含盐量 2.5 g·kg^{-1}，20~40 cm 土层含盐量 1.9 g·kg^{-1}。土壤基本理化性状：有机质 6.2 g·kg^{-1}，全氮 0.81 g·kg^{-1}，全磷 0.81 g·kg^{-1}，全钾 10.53 g·kg^{-1}，水解氮 49.3 mg·kg^{-1}，速效磷(P_2O_5) 29.6 mg·kg^{-1}，速效钾(K_2O) 93.6 mg·kg^{-1}，土壤 pH 7.6。

供试花生品种为耐盐品种'花育 25 号'[13]。

1.2 试验设计

试验采用随机区组设计，设双粒穴播和单粒精播 2 种播种方式。单粒精播播种方式设置穴距 13 cm (18.0 万穴·hm^{-2}, M1)、12 cm(19.6 万穴·hm^{-2}, M2)、11 cm(21.4 万穴·hm^{-2}, M3)、10 cm(23.5 万穴·hm^{-2}, M4)、9 cm(26.0 万穴·hm^{-2}, M5)5 个种植密度；双粒穴播播种方式设置穴距 20 cm(11.6 万穴·hm^{-2}, M6)、18 cm(13.0 万穴·hm^{-2}, M7)、16 cm(14.7 万穴·hm^{-2}, M8)3 个种植密度。均采用大小行距平作覆膜种植方式，大行行距 55 cm，小行行距 30 cm，行长 10 m，小区面积 42.5 m^2，3 次重复。5 月 8 日播种，9 月 22 日收获。于 4 月 25 日播种前 13 d 引黄河水对试验田进行大水压盐。

1.3 植株样品采集与制备

分别于出苗后 19 d、32 d、56 d、76 d、85 d 和 106 d 采取植株样品，每次每个小区随机采取 12 株植株样带回室内，洗净用滤纸吸干，按叶片、茎(茎+叶柄+果针)、荚果各器官分开，测量主茎高、侧枝长、基部茎粗和基部茎节长等农艺性状。收获时，各小区选取长势均匀一致、面积 4.5 m^2 实收计算产量。其中，基部茎指基部第一节间，即子叶节至第一片真叶的距离，基部茎特征以基部茎长和基部茎粗表征，分别以游标卡尺量取其长度和直径。计量分枝数的标准以分枝长度大于 3 cm 记为 1 个分枝。

1.4 测定项目及方法

植株干物质量测定：将植株样品置于烘箱中 105 ℃下杀青 30 min，再于 70 ℃下烘干至恒重，称量。叶面积指数测定：采用打孔称重法测定叶面积，计算叶面积指数 LAI。主要品质性状测定：籽仁可溶性糖的测定采用蒽酮比色法，可溶性蛋白质含量的测定采用考马斯亮蓝法，脂肪含量测定采用索氏提取法，脂肪酸组分测定采用 MPA 型傅立叶变换近红外光谱法(德国布鲁克光谱仪器公司)。

1.5 数据分析

用 Microsoft Excel 2003 进行数据整理和作图，用 DPS v7.05 数据分析软件进行数据分析，采用 LSD 法进行差异显著性分析并进行数据拟合。

2 结果与分析

2.1 种植密度和播种方式对植株主要农艺性状的影响

2.1.1 对主茎高和侧枝长的影响

主茎高和侧枝长是花生植株性状的重要指标和内部生理生化水平的最直观表现，也是易于观测的形态指标。由图 1 可以看出，不同种植密度下，两种播种方式的主茎高和侧枝长都表现为自幼苗期到开花初期(出苗后 19~32 d)生长缓慢，花针期至荚果期(出苗后 56~85 d)迅速生长至最大值，之后至成熟期各处理主茎高基本无变化而侧枝长仍表现明显伸长。

种植密度和播种方式显著影响盐碱地花生开花期(出苗后 56 d)后主茎高和侧枝长度，花生快速生长期间(出苗后 56~85 d)，双粒穴播方式下的主茎高和侧枝长显著低于单粒精播方式。单粒精播方式下，出苗后 56 d 其主茎高和侧枝长在 M1~M4 范围内均随种植密度的增加而显著增加；出苗后 76~85 d，其主茎高和侧枝长自 M2~M5 基本均随密度增大或降低或显著降低。双粒穴播方式下，出苗后 56 d 主茎高和侧枝长均表现为 M8>M7>M6，出苗后 76~85 d，M8、M7 和 M6 处理的主茎高和侧枝长均显著低于单粒精播方式，但三者间差异不显著。至成熟期(出苗后 106 d)，种植密度对主茎高和侧枝长的影响不显著，但单粒精播方式显著高于双粒穴播方式。出苗后 56~85 d，单位面积相同株数的 M4 与 M6 和 M5 与 M7 处理下，其主茎高和侧枝长均表现为 M4 显著高于 M6、M5 显著高于 M7。非盐碱土区花生主茎高通常为 35~50 cm[4]，本试验条件下最大主茎高仅为 25.6 cm，最大侧枝长 29.0 cm，表明土壤盐碱胁迫较大程度地抑制了花生植株的营养生长。

2.1.2 对分枝数的影响

由图 2 可见，随盐碱地花生生育进程推进，各处理下的一次分枝数和二次分枝数均呈先增加后降低的变化趋势，但因种植密度和播种方式的不同其

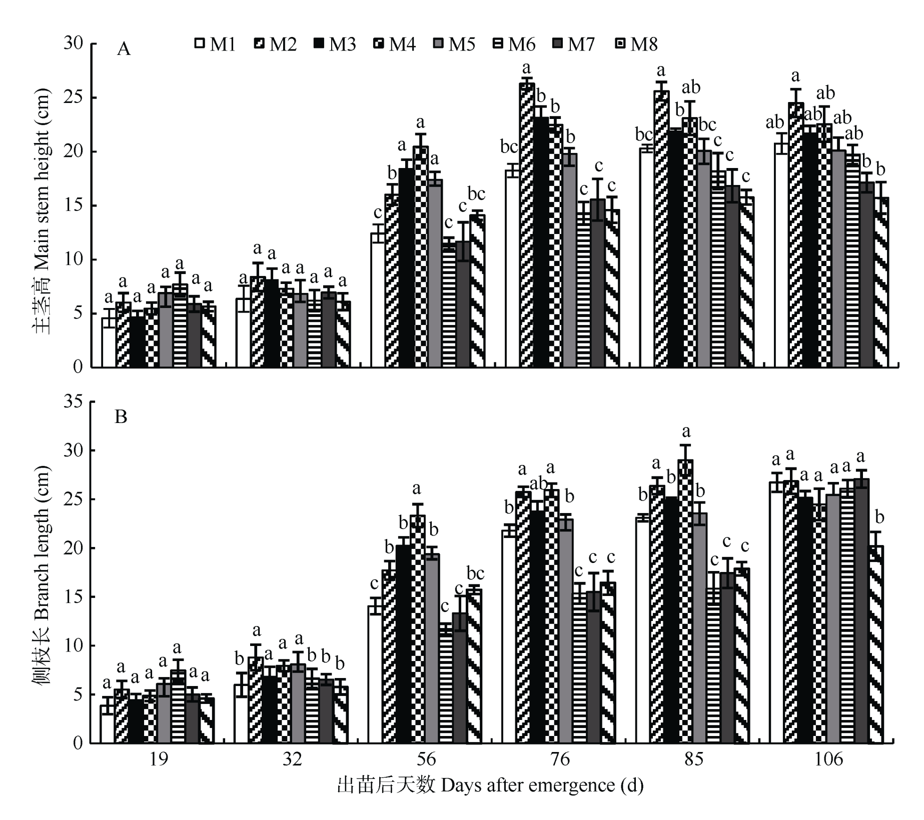


图 1　不同种植密度和播种方式下花生主茎高(A)和侧枝长(B)变化

Fig. 1　Changes of peanut main stem height (A) and branch length (B) under different planting densities and sowing modes

M1~M5 为单粒精播播种方式，其中 M1 18.0 万穴·hm^{-2}, M2 19.6 万穴·hm^{-2}, M3 21.4 万穴·hm^{-2}, M4 23.5 万穴·hm^{-2}, M5 26.0 万穴·hm^{-2}; M6~M8 为双粒穴播播种方式，其中 M6 11.6 万穴·hm^{-2}, M7 13.0 万穴·hm^{-2}, M8 14.7 万穴·hm^{-2}。下同。M1–M5 are planting densities treatments of single-seed planting. M1: 180 thousand holes·hm^{-2}; M2: 196 thousand holes·hm^{-2}; M3: 214 thousand holes·hm^{-2}; M4: 235 thousand holes·hm^{-2}; M5: 260 thousand holes·hm^{-2}. M6–M8 are planting densities treatments of double-seeds planting. M6: 116 thousand holes·hm^{-2}; M7: 130 thousand holes·hm^{-2}; M8: 147 thousand holes·hm^{-2}. The same below.

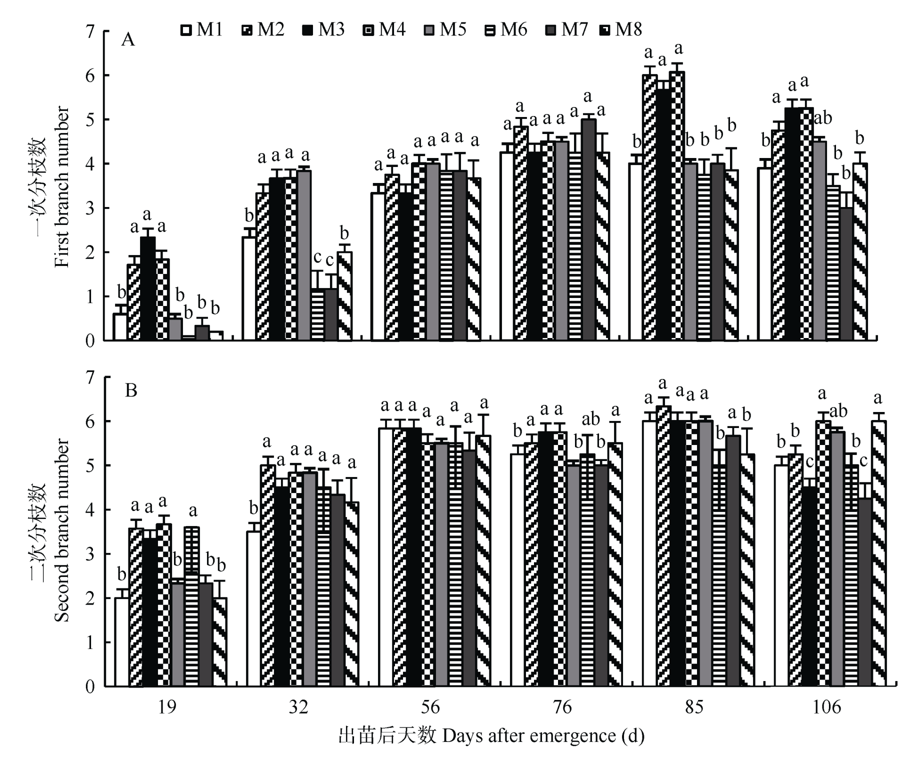


图 2　不同种植密度和播种方式下花生一次分枝数(A)和二次分枝数(B)变化

Fig. 2　Changes of peanut first branch numbers (A) and second branch numbers (B) under different planting densities and sowing modes

峰值出现的时间不同，分别至出苗后 76 d 和 85 d 达峰值，且单粒精播方式下二次分枝数峰值滞后 10 d 左右。出苗后 85 d 峰值时单粒精播方式下一次分枝数显著高于双粒穴播方式，85 d 和 76 d 峰值时分别为 6.0~6.3 个和 5.0~5.7 个。出苗 56 d 前即荚果膨大前，种植密度和播种方式明显影响一、二次分枝数的变化，单粒精播方式下，苗期 M1 和 M5 显著低于 M2、M3 和 M4，双粒穴播方式下各处理间无显著差异；出苗后 32 d 时 M1 仍显著低于 M2、M3 和 M4，而双粒穴播各处理显著低于单粒精播。出苗后 56~76 d，一次分枝数不受密度和播种方式的影响，出苗 85 d 后单粒精播方式下一、二次分枝数显著高于双粒穴播方式。总分枝数受种植密度和播种方式的影响主要来自出苗 56 d 前和出苗 85 d 后，即开花下针期前和饱果期的营养生长与生殖生长的分化；出苗后 56~76 d，各种植密度和播种方式下的总分枝数间差异不大，一次和二次分枝数分别为 5.0~5.8 条和 3.3~5.0 条，总分枝数在 9.2~10.3 条。单粒精播方式下，出苗后 85 d 时各处理总分枝数最大，M2 处理达 12.3 条，而双粒穴播方式下最大总分枝数提前 10 d 左右，在出苗后 76 d，M2 最大为 10.0 条。种植方式和密度对分枝数的影响与植株冗余生长时期有关，尤其二次分枝数的消长基本伴随花生的整个生育期。

2.1.3 对基部茎特征的影响

基部茎特征(茎长、茎粗和长/粗)是壮株的标志，壮株茎秆输导组织系统和贮藏结构较为发达，输导和贮藏养分能力强，能为较高产量的形成奠定良好基础。图 3A 表明，各种植密度和播种方式下，花生基部茎长于出苗后 19 d 最大，之后随生育期推进

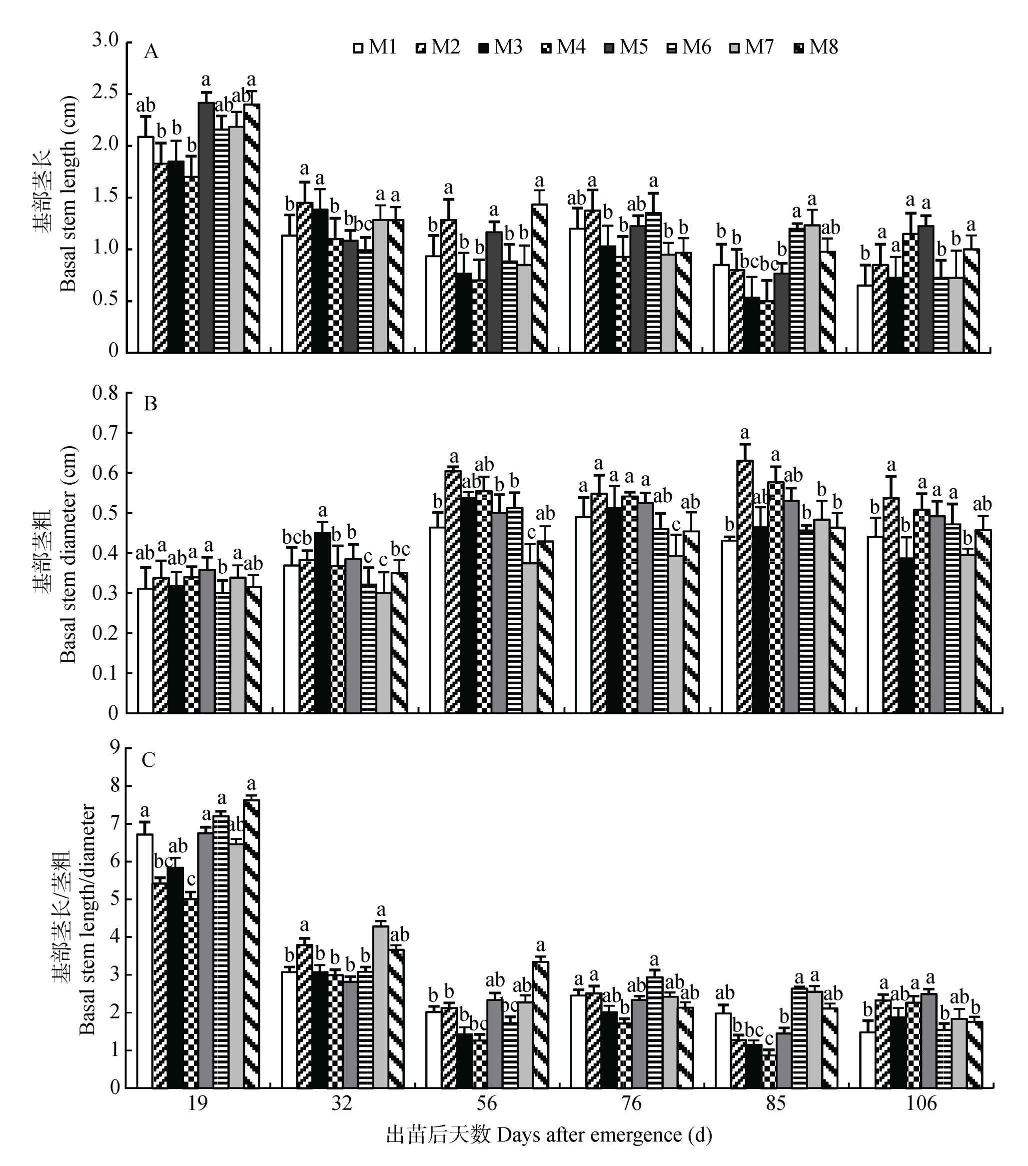


图 3 不同种植密度和播种方式下花生基部茎长(A)、茎粗(B)和基部茎长粗比值(C)的变化

Fig. 3 Changes of basal stem length (A), diameter (B) and ratio of length to diameter of basal stem (C) of peanut under different planting densities and sowing modes

均趋于稳定的变化趋势，出苗后 19~32 d 迅速降低并以双粒穴播方式降幅较大，出苗 56 d 后至成熟基部茎长基本稳定在 0.65~1.22 cm，出苗后 19 d 基部茎长最大的主要原因可能是胚轴伸长顶土出苗后，基部茎长度仍以胚轴长度为主。单粒精播方式下，出苗后 19 d 时，M2~M4 密度范围内，基部茎长基本随密度增大而缩短且差异不显著，之后至成熟，M2 处理的基部茎长显著高于 M1 处理，而双粒穴播方式下基部茎长随密度变化而变化。基部茎粗随生育期推进的变化幅度较小，仅在出苗后 32~56 d 其横截面积增速较大，并有单粒精播大于双粒穴播的趋势。各处理中以 M2 基部茎较粗。花生全生育期基部茎长/粗呈现渐降的变化趋势，自幼苗期茎长/粗值为 5.0~7.2 降至出苗后 76 d 的 1.71~2.96 cm，至成熟稳定在 1.13~2.63 cm。出苗后 56 d 至成熟，以 M4、M3 和 M2 茎长/粗值较低(图 3B、C)。

2.2　种植密度和播种方式对植株光合产物积累与分配的影响

2.2.1　对光合产物积累的影响

由表 1 可以看出，不同种植密度下花生叶片和茎+叶柄干物质积累量可用 Logistic 曲线很好的拟合，其拟合曲线相关系数 R^2 均达显著或极显著水平，表明各种植密度下，盐碱地花生营养器官的生长发育和光合产物积累用 Logistic 生长曲线拟合良好。其中，在 M5 密度下，花生叶片的拟合曲线相关系数 R^2 最大，为 0.994 4，达极显著水平。

表 1　不同种植密度和播种方式下花生各器官干物质积累 **Logistic** 拟合方程

Table 1　Logistic equations of dry matter accumulation of different organs under different planting densities and sowing modes

器官 Organ	处理 Treatment	Logistic 拟合方程 Logistice equation	T_m	V_m	R^2
叶片 Leaf	M1	$Y1=11.162\ 2/[1+EXP(6.376\ 0-0.108\ 8X1)]$	58.581 9	0.303 7	0.961 0*
	M2	$Y2=12.672\ 5/[1+EXP(5.414\ 0-0.115\ 5X2)]$	46.877 3	0.365 9	0.971 3*
	M3	$Y3=11.693\ 3/[1+EXP(6.098\ 1-0.134\ 9X3)]$	45.216 3	0.394 3	0.981 7*
	M4	$Y4=11.0317/[1+EXP(7.616\ 5-0.178\ 6X4)]$	42.651 8	0.492 5	0.940 6*
	M5	$Y5=10.197\ 9/[1+EXP(7.961\ 8-0.182\ 8X5)]$	43.545 4	0.466 1	0.994 4**
	M6	$Y6=8.396\ 0/[1+EXP(6.228\ 1-0.126\ 8X6)]$	49.107 8	0.266 2	0.971 7*
	M7	$Y7=7.945\ 3/[1+EXP(5.371\ 8-0.114\ 1X7)]$	47.053 8	0.226 8	0.985 8*
	M8	$Y8=8.412\ 0/[1+EXP(7.072\ 8-0.136\ 4X8)]$	51.857 2	0.286 8	0.986 8*
茎+叶柄 Stem+ petiole	M1	$Y1=13.807\ 5/[1+EXP(8.154\ 2-0.155\ 2X1)]$	52.520 3	0.535 9	0.982 3*
	M2	$Y2=17.088\ 9/[1+EXP(6.908\ 7-0.135\ 6X2)]$	50.933 3	0.579 5	0.993 7**
	M3	$Y3=14.441\ 8/[1+EXP(9.161\ 9-0.203\ 7X3)]$	44.981 6	0.735 4	0.970 1*
	M4	$Y4=17.248\ 5/[1+EXP(7.756\ 7-0.156\ 2X4)]$	38.082 6	0.878 3	0.962 4*
	M5	$Y5=14.755\ 4/[1+EXP(8.784\ 0-0.171\ 3X5)]$	51.272 5	0.632 0	0.983 4*
	M6	$Y6=10.402\ 7/[1+EXP(7.211\ 5-0.148\ 3X6)]$	48.639 9	0.385 6	0.969 1*
	M7	$Y7=15.181\ 9/[1+EXP(6.076\ 7-0.126\ 0X7)]$	48.228 2	0.478 2	0.965 5*
	M8	$Y8=12.205\ 4/[1+EXP(7.957\ 0-0.151\ 8X8)]$	52.406 3	0.463 3	0.972 2*

*和**分别表示在拟合方程在 0.05 和 0.01 水平上显著。* and ** mean that equations are significant at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

单粒精播方式下，盐碱地花生叶片和茎+叶柄最大生长速率(V_m)随种植密度增加分别表现为“抛物线型”的变化趋势，M4 处理下的叶片和茎+叶柄的 V_m 最大，分别为 0.492 5 g·株$^{-1}$ 和 0.878 3 g·株$^{-1}$，M1 处理下叶片和茎+叶柄 V_m 最小；双粒穴播方式下花生叶片和茎+叶柄 V_m 随种植密度的变化表现不同，分别表现为 M8>M6>M7、M7>M8>M6。单位面积株数相同时，叶片和茎+叶柄的 V_m 均表现为 M5>M7，M4>M6。各方式和种植密度下，盐碱地花生叶片 V_m 是茎+叶柄 V_m 的一半左右。

花生叶片和茎+叶柄干物质积累量最大速率出现的时间(T_m)受种植密度影响明显。单粒精播时无论是叶片还是茎+叶柄，都以 M4 的 T_m 出现最早，其最大生长速率分别出现在出苗后 42.7 d 和 38.1 d，叶片快速生长早于茎+叶柄 5 d 左右。双粒穴播时，叶片和茎的 T_m 均以 M7 最早，M8 最晚。单位面积相同株数时，双粒穴播方式下叶片和茎+叶柄干物质积累最大速率出现的时间明显滞后于单粒精播方式，M7 的叶片 T_m 比 M5 滞后 3.5 d，M6 比 M4 滞后 6.5 d；M6 茎+叶柄 T_m 比 M4 滞后 10.6 d。叶片和茎+叶柄光合产物快速积累期主要在花针期和荚果膨大期。

2.2.2　对光合产物分配的影响

从表 2 可以看出，盐碱地花生种植密度和播种方式对各生育时期各器官光合产物积累量有显著影

表 2 不同种植密度和播种方式下花生不同生育期干物质分配规律

Table 2 Effect of different planting densities and sowing modes on dry matter distribution rule during different growth stages of peanut

生育阶段 Growth stage	处理 Treatment	根 Root		茎+叶柄 Stem+petiole		叶片 Leaf		荚果 Pod		总积累量 Total accumulation (g·plant^{-1})
		积累量 Accumulation (g·plant^{-1})	分配率 Distribution ratio (%)	积累量 Accumulation (g·plant^{-1})	分配率 Distribution ratio (%)	积累量 Accumulation (g·plant^{-1})	分配率 Distribution ratio (%)	积累量 Accumulation (g·plant^{-1})	分配率 Distribution ratio (%)	
苗期 Seedling	M1	0.07±0.003b	5.87±0.22a	0.67±0.04b	57.83±3.04a	0.41±0.02d	36.09±1.30bc	—	—	1.15±0.048c
	M2	0.07±0.003b	4.68±0.19b	0.80±0.10ab	51.28±6.41a	0.69±0.04ab	43.91±2.24ab	—	—	1.56±0.038ab
	M3	0.06±0.004b	4.31±0.27b	0.67±0.02b	50.76±1.15a	0.58±0.02bc	44.66±1.15a	—	—	1.31±0.004bc
	M4	0.09±0.002a	5.05±0.11ab	1.01±0.02a	55.77±0.82a	0.72±0.04a	39.56±2.20abc	—	—	1.83±0.057a
	M5	0.07±0.003b	4.52±0.07b	0.83±0.02ab	57.19±1.03a	0.56±0.01c	38.36±0.68abc	—	—	1.46±0.004bc
	M6	0.06±0.003b	5.09±0.22b	0.63±0.02b	55.75±1.77a	0.44±0.02d	38.50±1.33abc	—	—	1.12±0.033c
	M7	0.09±0.003a	7.23±0.21a	0.68±0.03b	55.79±2.07a	0.44±0.01d	36.36±0.83bc	—	—	1.20±0.018c
	M8	0.05±0.008b	4.41±0.63b	0.73±0.03b	60.92±2.10a	0.41±0.01d	34.03±0.42c	—	—	1.18±0.023c
花针期 Flower-pegging stage	M1	0.17±0.007c	5.54±0.29d	1.26±0.14b	40.11±4.62a	1.70±0.10bc	54.28±3.23a	—	—	3.13±0.048c
	M2	0.36±0.014a	8.13±0.43ab	1.80±0.20ab	40.18±4.39a	2.31±0.09ab	51.76±1.94a	—	—	4.47±0.038ab
	M3	0.32±0.005a	6.04±0.11cd	2.20±0.10a	42.05±1.89a	2.71±0.21a	51.82±4.02a	—	—	5.23±0.004bc
	M4	0.31±0.028a	5.79±0.73cd	2.21±0.09a	41.57±1.74a	2.79±0.09a	52.50±1.65a	—	—	5.31±0.057a
	M5	0.35±0.023a	7.65±0.69bc	1.90±0.10ab	41.18±2.14a	2.36±0.04ab	51.23±0.84a	—	—	4.61±0.004bc
	M6	0.29±0.012ab	9.68±0.54a	1.18±0.04b	39.15±4.04a	1.54±0.06bc	51.25±1.91a	—	—	3.01±0.033c
	M7	0.23±0.013bc	6.91±0.54bcd	1.16±0.20b	35.36±1.11a	1.90±0.10abc	57.75±3.04a	—	—	3.29±0.018c
	M8	0.21±0.01c	7.64±0.51bc	1.21±0.20b	43.82±7.09a	1.33±0.37c	48.24±3.58a	—	—	2.75±0.023c
荚果期 Podding stage	M1	4.82±0.03c	20.75±0.89a	8.93±0.81bc	38.39±2.79a	7.95±0.86a	34.19±2.18a	1.60±0.07b	6.67±1.07b	23.25±0.012bc
	M2	8.88±0.03ab	22.53±1.01a	14.38±0.25a	36.49±1.28a	13.21±2.11a	33.52±2.16a	2.94±0.39b	7.46±0.34ab	39.41±0.003a
	M3	9.49±1.07a	21.10±0.98a	15.59±0.11a	34.63±1.86a	12.35±2.07a	27.43±1.97a	5.37±0.07a	16.84±0.08a	45.01±0.004a
	M4	9.22±0.01ab	21.39±1.27a	16.18±0.31a	37.57±2.17a	12.23±1.28a	28.39±2.61a	5.45±0.04a	12.65±0.02ab	43.08±0.013a
	M5	7.30±0.04b	20.08±2.03a	12.23±0.45ab	33.65±3.01a	11.46±1.09a	31.52±3.98a	7.58±0.18a	14.76±0.94ab	36.36±0.005ab
	M6	4.62±0.04c	20.90±1.28a	8.48±1.07bc	38.33±2.07a	7.41±1.02a	33.51±1.47a	1.55±0.09b	7.25±0.06b	22.11±0.021c
	M7	3.47±0.02c	20.12±2.10a	6.22±0.67c	36.06±3.27a	6.24±1.67a	36.17±3.47a	1.55±0.11b	7.68±0.04ab	17.25±0.007c
	M8	4.15±0.03c	22.60±2.47a	5.28±0.46c	28.76±2.81a	7.38±0.87a	40.20±4.19a	1.32±0.06b	8.44±0.03ab	18.36±0.019c
饱果期 Pod filling stage	M1	1.09±0.011ab	2.23±0.91a	13.70±0.35a	28.13±1.83ab	16.20±2.37b	33.27±2.49a	17.70±0.97bc	35.63±1.37a	49.30±2.07cd
	M2	0.87±0.000 3ab	1.66±0.06a	13.99±1.68a	26.64±1.07ab	18.82±1.67b	35.85±1.97a	18.82±2.39b	35.85±2.16a	52.93±1.20bc
	M3	0.99±0.002ab	1.83±0.07a	14.61±0.78a	26.93±0.81ab	19.33±2.07b	35.63±1.68a	19.33±1.04b	36.35±2.07a	54.68±1.03b
	M4	1.21±0.003a	1.74±0.09a	15.32±1.09a	22.08±1.11b	26.43±1.27a	38.09±3.67a	26.43±2.08a	38.09±0.94a	69.63±0.09a
	M5	0.86±0.001ab	1.76±0.13a	16.00±1.67a	32.77±1.08ab	13.36±1.39b	27.36±4.35a	18.60±1.24bc	38.10±1.27a	49.3b±0.13cd
	M6	0.75±0.002b	1.86±0.02a	11.82±0.98a	29.34±0.24ab	13.85±1.67b	34.40±2.11a	13.85±1.64bc	34.40±1.67a	40.79±1.04d
	M7	0.91±0.003ab	1.89±0.04a	15.59±1.11a	32.34±0.17ab	15.85±0.98b	32.88±1.98a	15.85±2.09bc	32.88±3.07a	48.71±1.11bcd
	M8	0.95±0.003ab	2.35±0.03a	13.78±1.67a	33.96±1.06a	13.17±1.30b	32.47±3.17a	12.67±1.04c	31.24±1.04a	41.32±1.28cd

同列不同小写字母表示不同种植密度间差异显著(P<0.05)。下同。Different lowercase letters in a column indicate significant differences at 0.05 level among different planting densities. The same below.

响，但对其分配率的影响差异较小，苗期茎+叶柄的分配率各处理间差异不显著，花针期和荚果期茎+叶柄及叶片中光合产物分配率各处理间差异均不显著，至饱果期根、叶片和荚果中光合产物分配率各处理间差异均不显著。不同种植密度下，花生光合产物分配规律基本一致。在花针期表现为叶>茎+叶柄>根，荚果期表现为茎+叶柄>叶>根>果，饱果期表现为果>叶>茎>根。说明前期花生叶片和茎光合器官生长较快，可产生较高的光合产物为花生后期生长发育奠定基础；至生长中期，茎+叶柄的分配比例较大，可顺利完成光合产物输送；生长后期，营养器官根、茎、叶的分配比例均降低，荚果的分配比率逐渐升高并达到最大。至饱果期，单粒精播方式下荚果分配率大小依次表现为 M5>M4>M3>M2>M1，其中 M5 的最大为 38.10%，M1 最小为 35.63%。双粒穴播方式下，表现为 M6>M7>M8。两种播种方式相同密度下，荚果分配率表现为 M5>M7，M4>M6，单粒精播优于双粒穴播。说明在 M4 和 M5 种植密度下更有利于光合产物向荚果转运，而随着密度增大，不利于干物质向荚果分配。

2.3　种植密度和播种方式对植株叶面积指数(LAI)变化的影响

由图 4 可知，种植密度和播种方式不影响盐碱地花生出苗后 19 d 和 56 d 时的 LAI，其相互间均无显著差异。单粒精播方式下盐碱地花生生育期内 M2 处理的 LAI 高于 M1，但仅出苗后 106 d 时差异显著。M3、M4、M5 处理下随种植密度的增加 LAI 逐渐降低，除出苗后 32 d 和 85 d 时 M5 处理下的 LAI 显著低于 M3、M4 外，其余时期相互间差异不显著；双粒穴播方式下，出苗至出苗后 76 d 的生育前期其 LAI 的变化表现为随密度增加而降低，到出苗后 85 d 饱果期至成熟期其又随密度的增加显著性增大。

单粒精播方式下，M2 升幅较大，为 23.48%；而双粒穴播方式下以 M6 的降幅较大，为 51.67%。LAI 峰值时，单粒精播方式 M2 密度下花生叶面积指数最大达 6.59，M5 密度下最小，仅为 5.13；双粒穴播方式下，叶面积指数表现为 M7 最大为 5.64，M8 最小为 4.64。单位面积相同株数时表现为 M5<M7、M4>M6，仅出苗后 85 d 和 76 d 达显著差异水平，适宜密度下单粒精播稍优于双粒穴播。全生育期内，LAI 大于 3.0 维持在 50 d 以上的有 M4、M3、M2、M1 和 M7，且其 LAI 大于 4.0 并保持 29 d 以上，说明 M2、M3、M4 的种植密度利于花生植株充分利用空间。

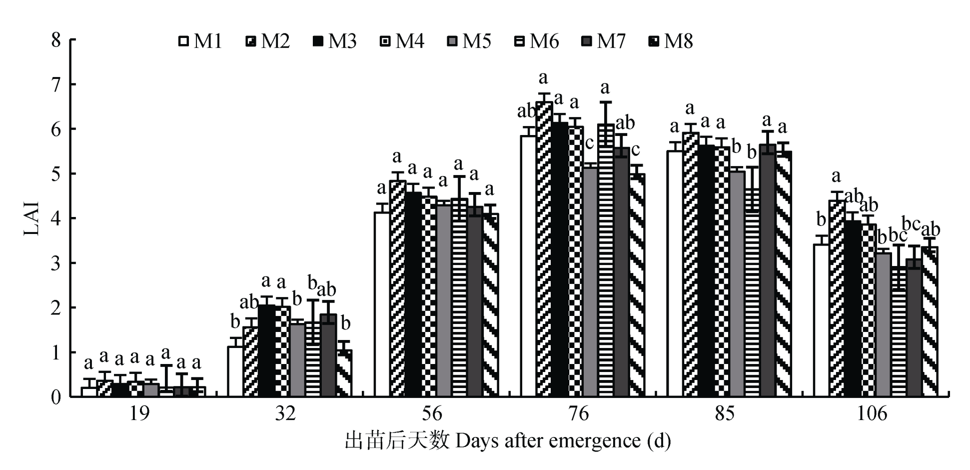


图 4　不同种植密度和播种方式下花生叶面积指数(LAI)的变化

Fig. 4　Changes of leaf area index (LAI) of peanut under different planting densities and sowing modes

2.4　种植密度和播种方式对花生产量及构成因素的影响

由表 3 可以看出，在单粒精播和双粒穴播方式下，花生荚果产量随种植密度的增大呈先上升后下降的趋势。单粒精播方式下各处理间差异显著，荚果产量表现为 M4>M3>M5>M2>M1，M4 产量最高，为 5 403.26 kg·hm^{-2}。双粒穴播方式下，M7 与 M8 处理间产量差异显著，表现为 M7>M6>M8，单粒精播方式产量高于双粒穴播方式。

在单粒精播和双粒穴播方式下，百果重、百仁重、出仁率随密度增加的变化趋势与荚果产量相同，均表现为先升高后下降的变化趋势，均以 M4 处理最高；千克果数则随密度的增加呈先降后升的变化。单粒精播方式下，M1 的千克果数显著高于其他密度，为 778.19 个·kg^{-1}；百果重和千克果数 M5、M4、M3、M2 处理间无显著差异且明显高于 M1。M5、M4、M3 的出仁率明显高于 M2、M1 且仍以 M4 最高，为 73.09%，M1 最低，为 65.68%。双粒穴播方式下，百果重、百仁重和出仁率都表现为 M6、M7 显著高于 M8，均以 M7 最大，分别为 147.43 g、71.43 g 和 67.76%。M8 的千克果数显著高于 M6、M7，为 884.50 个·kg^{-1}。可以看出，适宜种植密度和播种方式下，产量的增加是由于百果重、百仁重和出仁率的增加以及千克果数的降低所致。

2.5　种植密度和播种方式对盐碱地花生主要品质性状的影响

由表 4 可以看出，不同种植密度和播种方式下，各处理间花生籽仁可溶性糖、蛋白质、脂肪和油酸/亚油酸(O/L)间差异均不显著，说明种植密度对花生籽仁品质影响不大。

3　讨论与结论

3.1　盐碱地花生农艺性状的变化

无论是半蔓生型还是直立型花生品种，其主茎高一般在 40~50 cm 为宜，超过则表明植株有旺长趋势，若主茎高度低于 30 cm，表明植株营养体生长不良，应采取以促为主的栽培措施[3]。本试验条件下，

表 3 不同种植密度和播种方式对花生荚果产量及其构成因素的影响

Table 3 Effect of different planting densities and sowing modes on yield and components of peanut pod

处理 Treatment	产量 Yield (kg·hm^{-2})	千克果数 Fruit number per kg	百果重 100-berry weight (g)	百仁重 100-kernel weight (g)	出仁率 Kernel rate (%)
M1	3 159.90±64.43d	778.19±49.83a	129.01±7.94b	61.22±5.09bc	65.68±3.22bc
M2	3 995.77±31.20cd	639.96±25.94b	156.41±7.35ab	75.48±0.53b	69.31±1.22b
M3	4 626.67±32.96b	627.67±19.47b	166.52±4.83a	72.45±1.67ab	69.75±0.75ab
M4	5 403.26±64.82a	601.66±31.53b	169.44±6.95a	77.09±0.90a	73.09±0.80a
M5	4 384.01±83.46bc	625.62±49.41b	159.87±10.83ab	75.26±2.07ab	69.64±2.13ab
M6	4 065.90±47.72c	691.00±7.79ab	145.49±2.00ab	62.81±0.75ab	66.70±1.28ab
M7	4 324.80±53.61c	679.76±73.33b	147.43±8.66ab	71.43±4.44ab	67.76±3.18ab
M8	2 857.91±23.65d	884.50±4.88a	113.06±0.62c	43.61±1.48c	62.47±1.85c

表 4 不同种植密度和播种方式对花生籽仁品质的影响

Table 4 Effect of different planting densities and sowing modes on the quality of peanut kernel

处理 Treatments	可溶性糖 Soluble sugar content (g·kg^{-1})	蛋白质 Solule protein content (g·kg^{-1})	脂肪 Fat content (g·kg^{-1})	油酸 Oleic acid (O) (g·kg^{-1})	亚油酸 Linoleic (L) acid (g·kg^{-1})	油酸/亚油酸 O/L
M1	6.35±0.35a	19.83±0.01a	43.10±0.30a	40.60±0.40a	43.25±0.95a	0.94±0.029a
M2	6.20±0.30a	19.59±0.67a	43.59±0.34a	39.69±0.15a	44.38±0.17a	0.89±0.007a
M3	5.75±0.25a	19.40±0.62a	43.40±1.10a	40.05±0.45a	43.20±0.10a	0.93±0.013a
M4	6.15±0.05a	19.53±0.32a	45.22±1.23a	40.35±0.25a	43.05±0.55a	0.94±0.006a
M5	6.00±0.50a	19.09±0.25a	45.35±0.06a	39.60±0.60a	43.50±0.50a	0.91±0.003a
M6	6.35±0.15a	19.55±0.71a	42.25±0.25a	40.80±0.19a	41.79±1.77a	0.98±0.046a
M7	6.25±0.05a	19.20±0.22a	42.00±1.00a	40.05±0.55a	42.85±0.25a	0.93±0.007a
M8	6.20±0.20a	19.08±0.50a	44.40±1.40a	41.08±0.26a	43.18±2.40a	0.95±0.047a

轻中度盐碱地花生的主茎高和侧枝长分别在 19.3~25.6 cm 和 24.5~26.8 cm，明显小于非盐碱地条件下的主茎高和侧枝长，土壤盐碱胁迫抑制了花生植株的营养生长，也适当减少了生长冗余的出现。采取适当的促控栽培措施，促进盐碱地花生植株营养生长和生殖生长协调互补，保持盐碱地花生高产稳产是今后需要深入研究的重要内容。

关于种植密度对花生地上部主要农艺性状影响的研究结果不尽一致，有研究结果表明，随着种植密度的增大，主茎高、侧枝长无明显变化[14]；也有研究认为，随着密度的增加，主茎高和侧枝长增加[15−19]。单粒精播方式下，主茎高和侧枝长在低密度范围内(13.5~19.5 万株·hm^{-2})随密度增加而增加[20]，分枝数、有效分枝数、单株结果数、双仁果率和饱果率均随密度的增加而减少[14,17,21]。而本试验条件下，盐碱地花生主茎高和侧枝长、一次和二次分枝数以及茎叶干物质积累量最大生长速率(V_m)在 18.0~23.5 万株·hm^{-2} 范围内均随密度的增加而降低，基部茎的伸长速度快于横截面积增大速度，生育后期基部茎长和茎粗均趋于稳定。叶片干物质积累量 V_m 是茎+叶柄干物质积累量 V_m 的一半左右，叶片快速生长早于茎+叶柄 5 d 左右，叶片和茎+叶柄光合产物快速积累期主要在花针期和荚果膨大期。各种植密度和播种方式下，在 18.0~23.5 万株·hm^{-2} 密度范围内，LAI、荚果光合产物分配率、百果重、百仁重、出仁率和产量均随密度增大而增大，千克果数降低；种植密度对籽仁可溶性糖、蛋白质、脂肪和 O/L 等影响不大，这与其他作物上的研究结果一致[21−22]。中轻度盐碱土区，采用单粒精播的播种方式时，适宜种植密度为 19.0~23.5 万株·hm^{-2}。

近年来随着作物源库性状的改善和栽培水平的提高，源库失调已经成为制约作物高产稳产的主要因素[22−23]。作为地下部形成产品器官的双子叶作物，花生生长过程中很容易出现地上部茎叶生长过旺、荚果膨大缓慢、光合产物在荚果中的分配比例减少、空秕荚果增多等(即源库失调)问题，其研究主要集中在茎维管束、基部茎节长和粗等方面[23−26]。花生茎粗与单株产量呈显著正相关，可作为花生高产育种的一个重要选择指标[27]。本试验结果表明，种植密度不影响盐碱地花生基部茎长随生育期推进而渐降的变化趋势，单粒精播方式下，一定密度范围内，基部茎长随密度增大而缩短；开花期前茎长降低迅速，结荚期至成熟基部茎长基本稳定在 0.65~1.22 cm；基部茎粗在初花至结荚期增速较大，并有单粒精播大于双粒穴播的趋势。花生基部茎特征与茎流速率、源流库的协同效应关系密切，但关于花生基部茎特

征的观察研究尚鲜见报道，花生基部茎特征与种植密度、源流库间的关系等有待今后深入研究。

3.2　中轻度盐碱地花生适宜种植密度

花生具无限生长特性，有较强的自我调节能力，对干旱半干旱区不同肥力非盐碱土壤花生高产栽培技术的研究与应用已较为成熟[8–11]。花生常规栽培多为垄作覆膜、双粒穴播，依据土壤肥力、产量、播期和品种特性等因素，确立了不同生产和环境条件下、不同类型花生品种获得高产的适宜密度。花生产量在 3 500 kg·hm^{-2} 以上的适宜种植密度为 14.66~20.72 万穴·hm^{-2}，大花生品种产量在 5 000 kg·hm^{-2} 以上适宜种植密度为 17.5~25.7 万株·hm^{-2}，小花生‘鲁花 12 号’产量在 4 000 kg·hm^{-2} 以上的适宜密度为 18.5~25.8 万株·hm^{-2}[12]；河南省春播花生品种适宜种植密度范围为 18.05~21.0 万穴·hm^{-2}[14]，冀中南部花生产区‘冀花 4 号’春播和麦套种植时适宜种植密度为 15~21 万穴·hm^{-2}[17]，而‘商研 9658’适宜播期下的适宜播种密度仅为 13.5~16.5 万穴·667m^{-2}[27]；产量为 2 847 kg·hm^{-2}‘黔花生 4 号’在铜仁市适宜的种植密度为 15.0~18.75 万穴·hm^{-2}[18]。

近年来，单粒精播技术已表现出强大的成本优势、个体和群体优势以及产量优势。郑亚萍等[19]、万书波等[8]对非盐碱土壤上不同种植模式下花生单粒精播及麦套花生套期和密度优化配置试验研究结果表明，小粒型花生品种的适宜密度大于大粒型花生品种，两者适宜密度分别为 22.5 万穴·hm^{-2} 和 21.0 万穴·hm^{-2}。云南省花生产区产量达 2 500.0~3 083.3 kg·hm^{-2} 时，花生高产群体密度以 27 万株·hm^{-2} 为宜[28]。单粒精播方式下，适宜种植密度为 20.0 万粒(穴)·hm^{-2}[15,20]。在适宜密度范围内，单粒精播高于双粒栽植的产量水平[29]。本试验条件下，轻中度盐碱土地区获得 4 000~5 400 kg·hm^{-2} 产量并兼具优良品质、适时单粒精播春花生的适宜密度为 19.0~23.5 万株·hm^{-2}，相近产量条件下盐碱地花生种植密度略高于非盐碱土壤。

发展盐碱地花生生产、扩大花生种植面积、提高食用植物油供应量对调整盐碱土区农业种植结构、增加农民受益、保障食用油安全具有重要意义。关于盐碱地花生高产高效栽培理论和技术的研究与实践刚刚起步，保持盐碱地花生高产稳产适宜的促控栽培措施还需继续深入研究。

参考文献　References

[1] 张建锋, 张旭东, 周金星, 等. 世界盐碱地资源及其改良利用的基本措施[J]. 水土保持研究, 2005, 12(6): 28–30
Zhang J F, Zhang X D, Zhou J X, et al. World resources of saline soil and main amelioration measures[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2005, 12(6): 28–30

[2] 关元秀, 刘高焕, 王劲峰. 基于 GIS 的黄河三角洲盐碱地改良分区[J]. 地理学报, 2001, 56(2): 198–205
Guan Y X, Liu G H, Wang J F. Regionalization of salt-affected land for amelioration in the Yellow River delta based on GIS[J]. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(2): 198–205

[3] Abrol I P, Yadav J S P, Massoud F I. Salt-affected Soils and Their Management[R]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1988

[4] 万书波. 花生优质安全增效栽培理论与技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2009
Wan S B. The Cultivation Theory and Technology of High Quality, Safety and Efficiency of Peanut[M]. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 2009

[5] 李明, 李文雄. 肥料和密度对寒地高产玉米源库性状及产量的调节作用[J]. 中国农业科学, 2004, 37(8): 1130–1137
Li M, Li W X. Regulation of fertilizer and density on sink and source traits and yield of maize[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2004, 37(8): 1130–1137

[6] 陈国平, 王荣焕, 赵久然. 玉米高产田的产量结构模式及关键因素分析[J]. 玉米科学, 2009, 17(4): 89–93
Chen G P, Wang R H, Zhao J R. Analysis on yield structural model and key factors of maize high-yield plots[J]. Journal of Maize Sciences, 2009, 17(4): 89–93

[7] 杨国虎, 李新, 王承莲, 等. 种植密度影响玉米产量及部分产量相关性状的研究[J]. 西北农业学报, 2006, 15(5): 57–60
Yang G H, Li X, Wang C L, et al. Study on effects of plant densities on the yield and the related characters of maize hybrids[J]. Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica, 2006, 15(5): 57–60

[8] 万书波, 郑亚萍, 刘道忠, 等. 精播麦套花生套期、肥料与密度优化配置[J]. 中国油料作物学报, 2006, 28(3): 319–323
Wan S B, Zheng Y P, Liu D Z, et al. Optimization of peanut-wheat intercropping system on date, fertilizer and plant density[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2006, 28(3): 319–323

[9] 孙彦浩, 陶寿祥, 陈殿绪. 夏花生重施前茬肥效果研究[J]. 花生科技, 2000(1): 15–18
Sun Y H, Tao S X, Chen D X. A study on the effect of fertilizer application with higher level to preceding crops on summer peanut[J]. Peanut Science and Technology, 2000(1): 15–18

[10] 王才斌, 成波, 孙秀山, 等. 应用 ^{15}N 研究小麦花生两熟制氮肥分配方式对小麦、花生产量及 N 肥利用率的影响[J]. 核农学报, 2002, 16(2): 98–102
Wang C B, Cheng B, Sun X S, et al. Effect of distribution modes of nitrogenous fertilizer on wheat and peanut yields and the nitrogenous fertilizer utilization ratio under the wheat-peanut cropping system[J]. Acta Agriculturae Nucleatae Sinica, 2002, 16(2): 98–102

[11] 万书波, 王才斌, 赵品绩, 等. 麦套花生套期与密度优化配置研究[J]. 中国油料作物学报, 2004, 26(4): 55–58

Wan S B, Wang C B, Zhao P J, et al. Optimized disposition of intercropping date and planting density for wheat-peanut cropping system[J]. Chinese Journal of Oil Crop Sciences, 2004, 26(4): 55–58

[12] 郑亚萍, 王才斌, 成波, 等. 不同品种类型花生精播肥料与密度的产量效应及优化配置研究[J]. 干旱地区农业研究, 2007, 25(1): 201–205

Zheng Y P, Wang C B, Cheng B, et al. Yield effect and optimized-measure combination of N fertilizer and plant density for different peanut variety types under single-seed planting[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25(1): 201–205

[13] 张智猛, 慈敦伟, 丁红, 等. 花生品种耐盐性指标筛选与综合评价[J]. 应用生态学报, 2013, 24(12): 3487–3494

Zhang Z M, Ci D W, Ding H, et al. Indices selection and comprehensive evaluation of salinity tolerance for peanut varieties[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(12): 3487–3494

[14] 吴继华, 张金民, 肖召杰, 等. 不同播期和密度对珍珠豆型花生品种远杂 9307 经济性状和产量的影响[J]. 中国农学通报, 2005, 21(9): 151–153

Wu J H, Zhang J M, Xiao Z J, et al. Effect of different planting period and density rate on Main agronomy characters and yields of Spanish peanut variety Yuanza 9307[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2005, 21(9): 151–153

[15] 高飞, 翟志席, 王铭伦. 密度对夏直播花生光合特性及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2011, 27(9): 320–323

Gao F, Zhai Z X, Wang M L. Effects of plant density on photosynthetic characteristics and yield in summer-planting peanut[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2011, 27(9): 320–323

[16] 易燕, 温顺位, 何灵芝, 等. 不同密度对黔花生 4 号产量及性状的影响[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(6): 1098–1099

Yi Y, Wen S W, He L Z, et al. Influence of different density on the yield and economic traits of Qianhuasheng No.4[J]. Hubei Agricultural Sciences, 2012, 51(6): 1098–1099

[17] 程增书, 徐桂真, 王延兵, 等. 播期和密度对花生产量和品质的影响[J]. 中国农学通报, 2006, 22(7): 190–193

Cheng Z S, Xu G Z, Wang Y B, et al. Effect of sowing time and planting density on yield and quality in peanut[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006, 22(7): 190–193

[18] 侯再芬, 杨天海, 田维德, 等. 不同播种密度对黔花生 4 号产量及主要性状的影响[J]. 耕作与栽培, 2012(2): 15–16

Hou Z F, Yang T H, Tian W D, et al. Effect of planting density on yield and main character in peanut[J]. Tillage and Cultivation, 2012(2): 15–16

[19] 郑亚萍, 许婷婷, 郑永美, 等. 不同种植模式的花生单粒精播密度研究[J]. 亚热带农业研究, 2012, 8(2): 82–84

Zheng Y P, Xu T T, Zheng Y M, et al. Study on single-seed sowing density of peanut under different planting patterns[J]. Subtropical Agriculture Research, 2012, 8(2): 82–84

[20] 赵长星, 邵长亮, 王月福, 等. 单粒精播模式下种植密度对花生群体生态特征及产量的影响[J]. 农学学报, 2013, 3(2): 1–5

Zhao C X, Shao C L, Wang Y F, et al. Effects of different planting densities on population ecological characteristics and yield of peanut under the mode of single-seed precision sowing[J]. Journal of Agriculture, 2013, 3(2): 1–5

[21] Hofmann W C, Kittock D L, Alemayehu M. Planting seed density in relation to cotton emergence and yield[J]. Agronomy Journal, 1988, 80(5): 834–836

[22] 崔海岩, 靳立斌, 李波, 等. 遮阴对夏玉米茎秆形态结构和倒伏的影响[J]. 中国农业科学, 2012, 45(17): 3497–3505

Cui H Y, Jin L B, Li B, et al. Effects of shading on stalks morphology, structure and lodging of summer maize in field[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(17): 3497–3505

[23] 柳洪鹃, 史春余, 柴沙沙. 不同产量水平甘薯品种光合产物分配差异及其原因[J]. 作物学报, 2015, 41(3): 440–447

Liu H J, Shi C Y, Chai S S. Difference and related reason for assimilate distribution of sweet potato varieties with different root tuber yields[J]. Acta Agronomica Sinica, 2015, 41(3): 440–447

[24] 周全卢. 秋甘薯不同类型品种干物质积累特性研究[D]. 重庆: 西南大学, 2007: 41–42

Zhou Q L. Research of dry matter accumulating characters on autumn sweet potato varieties of different types[D]. Chongqing: Southwest University, 2007: 41–42

[25] 汪顺生, 孟鹏涛, 高传昌, 等. 不同灌溉方式对冬小麦/夏玉米生长发育及产量的影响[J]. 中国农村水利水电, 2015(6): 86–90

Wang S S, Meng P T, Gao C C, et al. Experimental research on the fertility index and yield of wheat and maize under different irrigation[J]. China Rural Water and Hydropower, 2015(6): 86–90

[26] 李鑫波, 李玉霞, 王长伟, 等. 夏玉米茎秆形态特征对氮肥的响应[J]. 河南科技学院学报, 2015, 43(2): 7–10

Li X B, Li Y X, Wang C W, et al. Effect of different nitrogen application on stalk characteristics of summer maize[J]. Journal of Henan Institute of Science and Technology, 2015, 43(2): 7–10

[27] 吴继华, 李可, 苏锐锋. 高油酸花生新品种商研 9658 干物质积累动态及高产生理特性研究[J]. 花生学报, 2010, 39(4): 27–30

Wu J H, Li K, Su R F. Study on dry matter accumulation and physiological characteristics of a new high oleic acid peanut variety Shangyan 9658[J]. Journal of Peanut Science, 2010, 39(4): 27–30

[28] 葛再伟, 杨丽英. 不同种植密度对花生生育及产量的影响[J]. 花生学报, 2002, 31(3): 33–35

Ge Z W, Yang L Y. Influence of different planting density on growth, development and yield in peanut[J]. Journal of Peanut Science, 2002, 31(3): 33–35

[29] 郭峰, 万书波, 王才斌, 等. 不同类型花生单粒精播生长发育、光合性质的比较研究[J]. 花生学报, 2008, 37(4): 18–21

Guo F, Wan S B, Wang C B, et al. Comparative study on peanut plant growth and development, photosynthesis for different peanut variety types under single-seed planting[J]. Journal of Peanut Science, 2008, 37(4): 18–21